PRINCIPIOS BASICOS

1.7 ÁNGULO DE ATAQUE.

En este capítulo se detalla con más profundidad un concepto fundamental en aviación, el ángulo de ataque, cuya definición ya vimos en el capítulo 1.3. En dicho capítulo se definía el ángulo de ataque como el ángulo agudo formado por la cuerda del ala y la dirección del viento relativo, o sea, el ángulo con el cual el aire incide sobre las alas.

1.7.1 El ángulo de ataque.

El ángulo de ataque es quizá uno de los conceptos más usados e importantes en aviación, debido a que muchos de los números críticos relativos al rendimiento del avión están íntimamente relacionados con el ángulo de ataque.

- La pérdida ocurre con un determinado ángulo de ataque.
- El mejor ángulo de ascenso es un ángulo de ataque.
- La mejor velocidad de ascenso se da con un ángulo de ataque concreto.
- El mejor ratio de planeo ocurre con un ángulo de ataque determinado.
- Cuando se compensa en profundidad el avión, en realidad se está seleccionando un ángulo de ataque.
- La tasa de descenso más baja en planeo ocurre con un ángulo de ataque particular.

En un sentido real, el ángulo de ataque afecta a casi todo: cambiando el ángulo de ataque el piloto controla la sustentación, la velocidad, la resistencia... El ángulo de ataque controla directamente la distribución de presiones arriba y abajo del ala.

Aunque la densidad del aire, la superficie alar, los factores de velocidad, etc... hacen variar la sustentación y la resistencia de la misma manera en cualquier perfil aerodinámico, la variación de sustentación y resistencia con distintos ángulos de ataque es una característica propia de cada uno de estos perfiles. El gráfico de la fig.1.7.1 muestra un ejemplo de la variación de los coeficientes de sustentación y resistencia en función del ángulo de ataque, para un perfil concreto.

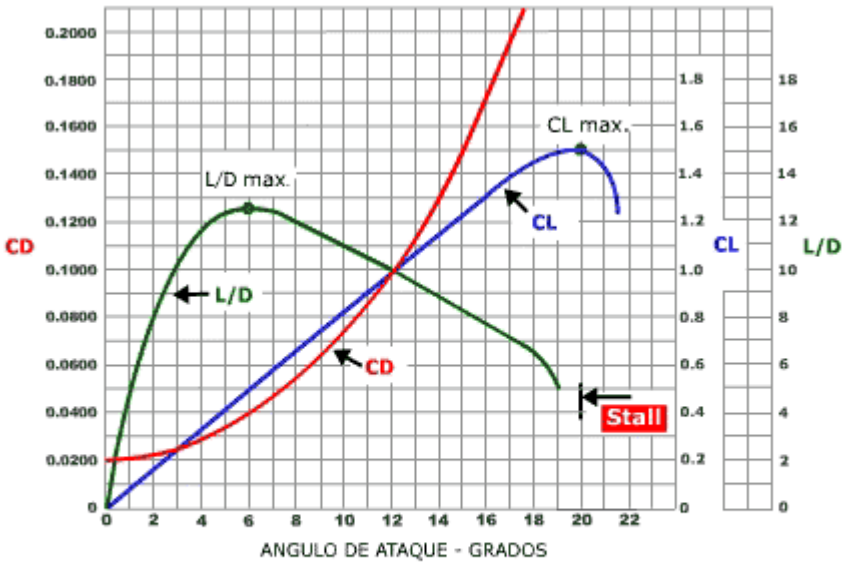


Fig.1.7.1 - Variación de sustentación y resistencia s/ángulo de ataque.

1.7.2 Percepción del ángulo de ataque.

Los hermanos Wright tenían un único instrumento en su primer aeroplano, un indicador del ángulo de ataque. Este consistía en un simple palo que sobresalía hacia adelante en el borde de ataque del ala, con una tira de tela en la punta; la tira se alineaba con el viento relativo, sirviendo el palo como referencia y también como sostén de la tira en una región de aire no alterada por el ala. El ángulo entre la tira y el palo indicaba el ángulo de ataque.

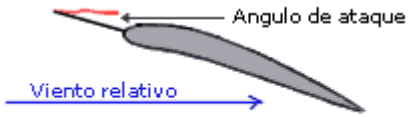


Fig.1.7.2 - Indicador de ángulo de ataque.

Sin embargo, hoy en día muchos aviones no tienen ningún instrumento que dé una indicación directa del ángulo de ataque. Aunque parezca extraño, muchos aviones de línea que tienen sensores de ángulo de ataque, no tienen dispositivos que den esa información a la tripulación, solo al piloto automático. Por eso, desde el primer contacto con el avión los instructores insisten en que el alumno perciba la actitud del avión (morro arriba, morro abajo, morro nivelado) por referencias visuales, como una forma de percibir de manera indirecta el ángulo de ataque.

A pesar de esta carencia, debemos ser capaces de mantener el ángulo de ataque que llevamos en cada momento mediante:

a. Nuestras percepciones: debemos acostumbrarnos a reconocer las posiciones de morro, fijarnos en la posición de las alas, tomar referencias con partes del aeroplano, etc. La idea de controlar la actitud del avión mientras se mira fuera es muy importante. Es común encontrar estudiantes que vuelan bien mirando al frente, pero que descontrolan la actitud del avión cuando miran a los lados; esto les hace complicado mirar si hay otros tráficos o encontrar los puntos de una ruta. Además, siempre existe la posibilidad de que uno o más instrumentos se averíen y tengamos que controlar el ángulo de ataque basándonos en nuestras sensaciones.
b. El indicador de velocidad, que nos da la mejor información sobre el ángulo de ataque.

Una regla que proporcionan algunos instructores para reconocer "grosso modo" el ángulo de ataque es: "*si el avión tiene una actitud de morro arriba y está ascendiendo el ángulo de ataque es bajo, pero con esa misma actitud si el avión está descendiendo el ángulo de ataque es alto*". Esta aseveración es cierta, pero !cuidado! porque es incompleta, por ejemplo podemos estar descendiendo con una actitud de morro abajo y sin embargo tener un ángulo de ataque alto.

Fig.1.7.3 - ¿reconocimiento? del ángulo de ataque por la actitud y el variómetro.

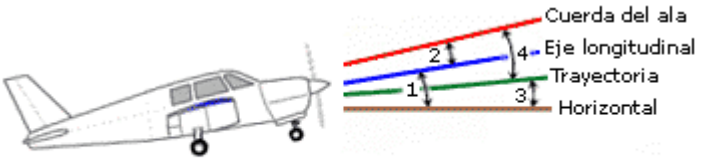
Debemos tener claro que aunque la actitud del avión (morro arriba, abajo o nivelado) y el ángulo de ataque están relacionados, no son lo mismo. La actitud se mide respecto al horizonte, el ángulo de ataque respecto a la dirección del viento relativo. En cualquier situación donde el viento relativo no es horizontal debemos ser precavidos.

1.7.3 Relación con otros ángulos.

A pesar de la dificultad de percibir el ángulo de ataque, hay otros ángulos relacionados con el mismo que nos ayudan a percibirlo. Estos son: ángulo de actitud, de incidencia, y de ascenso/descenso. La fórmula que relaciona estos ángulos es la siguiente:

Actitudº + Incidenciaº = Ataqueº + Ascensoº

Quizá el caso más sencillo sea el vuelo recto y nivelado a velocidad constante; la actitud es 0º, el ángulo de ascenso es 0º y el ángulo de ataque es igual al ángulo de incidencia.



Actitudº (1) + Incidenciaº (2) = Ascensoº (3) + Ataqueº (4)

Fig.1.7.4 - Relaciones entre ángulos.

Normalmente el ángulo de incidencia es constante, por lo que el ángulo de ataque depende solo de la actitud y la dirección de vuelo (ascenso/descenso). Si los instructores insisten durante las lecciones prácticas en que aprendamos a percibir y controlar la actitud del avión, se debe precisamente a que de esta manera percibimos y controlamos indirectamente el ángulo de ataque, tal como se ha explicado.
Sin embargo, en las maniobras con flaps (despegue y aterrizaje) se ha de tener en cuenta que desplegarlos tiene el efecto de incrementar la incidencia en varios grados. Al aumentar uno de los valores de la izquierda de la fórmula (incidencia), o minoramos el otro valor (actitud) para seguir manteniendo la igualdad, o la suma de la derecha (ataque + ascenso) aumentará en la misma cantidad. Resumiendo: la percepción del ángulo de ataque por la actitud habitual en vuelo cambia cuando se tienen los flaps extendidos, y este cambio de percepción es mayor cuanto mayor es el grado de deflexión de los flaps.

1.7.4 Cambiando el ángulo de ataque.

En 1.5.2 vimos como el volante de control provoca el movimiento de cabeceo del avión (morro arriba o abajo). Este movimiento de cabeceo hace variar el ángulo de ataque; o sea que el ángulo de ataque se controla mediante el volante de control. En el capítulo 1.1.10 veremos el efecto que tiene la variación del ángulo de ataque sobre la velocidad y la altura.

Para realizar un cambio en el ángulo de ataque, simplemente levante o baje el morro del aeroplano actuando sobre el volante de control. Una vez conseguida la actitud adecuada para el nuevo ángulo de ataque, libere un poco la presión y mueva el compensador hasta notar que no es necesario ejercer fuerza sobre el volante, lo que se llama "volar sin manos".

Si un aeroplano es desplazado del ángulo de ataque para el cual está compensado, por ejemplo por una ráfaga de aire, intentará volver a su posición de equilibrio, pero no lo conseguirá inmediatamente sino que oscilará hasta encontrarla. Estas oscilaciones son suaves y pueden corregirse fácilmente actuando sobre el volante de control. En aire no turbulento Vd. puede compensar el avión y dejarlo solo, pero si el aire es turbulento provocará bastantes oscilaciones y tendrá que intervenir sobre los mandos de forma más frecuente.

Aunque el compensador ahorra esfuerzo y facilita el trabajo, no es un procedimiento adecuado iniciar un cambio de actitud, velocidad o ángulo de ataque con el compensador, pues ello provocará un montón de oscilaciones. Haga los cambios mediante el volante de control y una vez conseguidos, actúe sobre el compensador para deshacerse de la presión sobre los mandos.

Conclusión: La forma mejor y más simple para que un avión vuele con un ángulo de ataque constante es compensarlo y dejarlo solo. Un aeroplano, por su propia estructura y diseño, está compensado para un ángulo de ataque definido. Los estudiantes primerizos, tienen la sensación equivocada de que ha de desarrollarse una gran habilidad y estar interviniendo en los mandos continuamente para mantener el aparato bajo control.

Otra sensación equivocada de los aspirantes a piloto, es que hay que mantener los controles firmemente sujetos, hasta el punto de que algunos bajan de las clases prácticas con los nudillos blancos. Producto de este "agarrotamiento" en los mandos, es que cada vez que se mira a algún lugar que no sea al frente, el avión realiza un movimiento incontrolado; si el piloto mira hacia atrás, tira a la vez de los mandos y el avión se encabrita; si mira a un lado y abajo, allá que va el avión, etc. Un piloto experimentado sujeta ligeramente los mandos y los mueve con suavidad y firmeza.

1.7.5 Angulo de ataque crítico.

Se denomina ángulo de ataque crítico a aquel que produce la mayor sustentación y a partir del cual un aumento del ángulo de ataque no se traduce en un incremento de la sustentación.

Sabemos que la sustentación se produce por la diferencia de presiones entre las partes superior e inferior del ala, más la reacción hacia arriba que produce la acción del flujo de aire deflectado hacia abajo en el borde de salida del ala. A medida que se incrementa el ángulo de ataque la diferencia de presiones es mayor debido a que presentamos a la corriente de aire una mayor curvatura; además, al ser mayor el ángulo del aire deflectado en el borde de salida, mayor es la reacción hacia arriba, por tanto tenemos más sustentación (y también más resistencia). Pero este proceso no es infinito. Cuando el ángulo de ataque excede el ángulo crítico comienza a disminuir la sustentación hasta producirse la entrada en

Fig.1.7.5 - Angulo de ataque crítico.

El gráfico de la fig.1.7.4 muestra que el coeficiente de sustentación (**CL**) es una función sencilla del ángulo de ataque, y como este coeficiente va aumentando con el ángulo de ataque hasta un punto (ángulo de ataque crítico) a partir del cual comienza a disminuir. Cada perfil tiene su propio ángulo de ataque crítico.

1.7.6 Relación entre ángulo de ataque y velocidad.

En 1.3.2 vimos la fórmula de la sustentación (**L=CL*q*S**) donde **CL** es el coeficiente de sustentación, directamente proporcional al ángulo de ataque; **q** la presión aerodinámica (***1/2dv²*** donde ***d*** es la densidad y ***v*** la velocidad del viento relativo) y **S** la superficie alar. Como en vuelo normal la sustentación es siempre muy cercana al peso y puesto que la superficie alar es invariable (salvo que se extiendan flaps), la fórmula anterior podría escribirse:

La igualdad reflejada en esta fórmula pone de relieve que:

1. En la sustentación total producida **L** los principales ingredientes son la velocidad y el ángulo de ataque, relacionados de forma que,
2. Para mantener una misma cantidad de sustentación, si la velocidad **v** disminuye, el coeficiente de sustentación **CL** (que depende del ángulo de ataque) debe incrementarse y viceversa, tal como muestra el gráfico de la fig.1.7.6.

Fig.1.7.6 - Velocidad vs. Coef.sustentación.

Puesto que los gráficos de las figuras 1.7.5 y 1.7.6 tienen en común el coeficiente de sustentación, combinando ambos vemos la correspondencia existente entre velocidades y ángulos de ataque, tal como se muestra en la fig.1.7.7; a mayor coeficiente de sustentación mayor ángulo de ataque y menor velocidad; cuando este coeficiente ha alcanzado su máximo la velocidad está en el mínimo; este mínimo es la velocidad de pérdida (Vs).

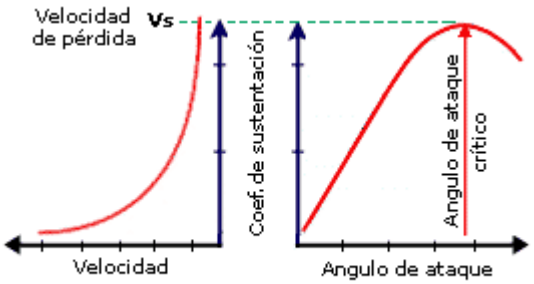


Fig.1.7.7 - Velocidad vs. Ángulo de ataque.

¡OJO!. Este gráfico solo trata de mostrar la relación entre velocidad y ángulo de ataque, y asume condiciones estándar en cuanto a sustentación necesaria y a los factores que afectan a la velocidad (densidad, etc...). Por ejemplo, en condiciones de mayor necesidad de sustentación, como por ejemplo en un viraje cerrado, la curva de velocidad se desplazaría hacia la izquierda (la velocidad de pérdida es mayor).

Una idea intuitiva que podemos extraer tanto de la fórmula anterior como de este último gráfico, es que altas velocidades implican bajos ángulos de ataque mientras que bajas velocidades implican ángulos de ataque altos. Teniendo en cuenta que el factor velocidad, **v** en la fórmula, interviene elevado al cuadrado, se comprende que volar con velocidades muy bajas (ver 5.10) implica un coeficiente de sustentación (**CL**) muy elevado, o sea ángulos de ataque muy pronunciados.

Si a un coeficiente de sustentación determinado le corresponde un ángulo de ataque y una velocidad concreta, podemos afirmar que para una misma cantidad de sustentación, a cada ángulo de ataque le corresponde una velocidad del indicador y viceversa, lo cual nos corrobora que el indicador de velocidad es realmente un buen indicador del ángulo de ataque. Con una excepción: hay un amplio rango de ángulos de ataque cercanos al ángulo critico que producen el mismo coeficiente de sustentación, circunstancia que se observa en las fig.1.7.5 y 1.7.7 donde vemos que la curva se hace casi plana en las cercanías del ángulo de ataque critico. Estos ángulos corresponden a velocidades muy cercanas a la velocidad de pérdida.

En casi todos los regímenes de vuelo, incluyendo especialmente la aproximación final, el indicador de velocidad nos da la mejor información sobre el ángulo de ataque. Pero durante la recogida en el aterrizaje, estamos en velocidades cercanas a la pérdida y este indicador no nos dice nada que necesitemos conocer.

1.7.7 Notas.

En el rango de ángulos de ataque correspondientes a vuelo normal (entre unos 3º y 10º) sucede que:

- El coeficiente de sustentación es proporcional al ángulo de ataque.
- El coeficiente de resistencia inducida es proporcional al cuadrado del ángulo de ataque.
- El coeficiente de resistencia parásita es esencialmente constante.

Con ángulos de ataque más altos, lo anterior deja de tener validez. El coeficiente de resistencia parásita aumenta muy rápidamente, y el de resistencia inducida se incrementa algo, no hay en estos casos razones de proporcionalidad.

Sumario:

- El ángulo de ataque es el ángulo agudo formado por la cuerda del ala y la dirección del viento relativo.
- La variación de la sustentación y la resistencia con el ángulo de ataque es propia de cada perfil aerodinámico. Lo mismo el ángulo de ataque crítico.
- Actitudº + Incidenciaº = Ataqueº + Ascenso.
- Angulo de ataque crítico es aquel que produce la mayor sustentación y a partir del cual un aumento del ángulo de ataque no se traduce en un incremento de la sustentación.
- El coeficiente de sustentación es un ratio que mide básicamente la efectividad del ala para convertir la presión aerodinámica en sustentación; es un número dimensional y no tiene unidad de medida. Se compone de un valor fijo según el tipo de perfil (coeficiente aerodinámico) más otro variable con el ángulo de ataque. Este coeficiente aumenta con el ángulo de ataque hasta llegar al CL máximo a partir del cual comienza a disminuir.
- Un ala típica puede tener un coeficiente de sustentación de alrededor de 1.5 sin extender flaps; es muy difícil conseguir un coeficiente mayor de 2.5 incluso con flaps extendidos.
- El coeficiente de sustentación (**CL**) es una función simple del ángulo de ataque.
- En la sustentación total producida los principales ingredientes son la velocidad y el ángulo de ataque.
- Para la misma sustentación, si la velocidad disminuye el coeficiente de sustentación debe incrementarse y viceversa.
- Para una misma cantidad de sustentación, a cada ángulo de ataque le corresponde una velocidad y viceversa.
- El indicador de velocidad es el dispositivo que mejor información nos da sobre el ángulo de ataque, excepto en velocidades cercanas a la pérdida.
- La aseveración "con una actitud de morro arriba si el avión está ascendiendo el ángulo de ataque es bajo y si esta descendiendo el ángulo de ataque es alto" es cierta, pero !ojo! incompleta.
- Por su estructura y diseño, si se compensa un avión para un ángulo de ataque específico, este debe mantenerlo sin necesidad de estar haciendo correcciones continuamente.
- Sujetar los mandos con suavidad y firmeza. El volante de control además de servirnos para efectuar modificaciones en el ángulo de ataque debe servirnos para "sentir" los cambios de ángulo de ataque.

© M.A.Muñoz Mar/2002